

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-015175

(43)Date of publication of application : 15.01.2003

(51)Int.Cl.

G02F 1/37  
H01S 3/10

(21)Application number : 2001-341797

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 07.11.2001

(72)Inventor : YAMAMOTO SHUHEI  
HIRANO YOSHIHITO  
SHOJI ICHIRO  
HIRATO HIRONORI  
KURIMURA SUNAO

(30)Priority

Priority number : 2001131953

Priority date : 27.04.2001

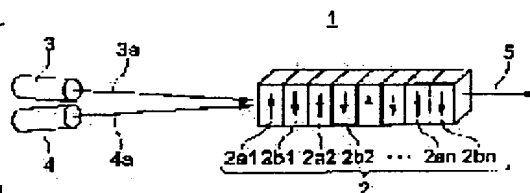
Priority country : JP

## (54) SOLID-STATE LIGHT SOURCE APPARATUS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To easily and surely realize generation of a high power and highly efficient tera-hertz wave while maintaining a narrow line width characteristic.

SOLUTION: This solid-state light source apparatus is provided with a 1st excitation laser light source 3 for outputting a 1st wavelength laser beam, a 2nd excitation laser light source 4 for outputting a 2nd wavelength laser light having a difference frequency in a tera-hertz band from the 1st wavelength laser light, and a semiconductor pseudo phase matching device 2 which is located at the overlapped place of the 1st optical axis of the 1st wavelength laser light and the 2nd optical axis of the 2nd wavelength laser light and generates tera-hertz light in a direction coaxial with the 1st and 2nd optical axes based on the irradiation of the 1st and 2nd wavelength laser light.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

22.06.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-15175

(P2003-15175A)

(43) 公開日 平成15年1月15日 (2003.1.15)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

データベース (参考)

G 0 2 F 1/37

G 0 2 F 1/37

2 K 0 0 2

H 0 1 S 3/10

H 0 1 S 3/10

C 5 F 0 7 2

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2001-341797 (P2001-341797)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(22) 出願日 平成13年11月7日 (2001.11.7)

(72) 発明者 山本 修平

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

(31) 優先権主張番号 特願2001-131953 (P2001-131953)

菱電機株式会社内

(32) 優先日 平成13年4月27日 (2001.4.27)

(72) 発明者 平野 嘉仁

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

菱電機株式会社内

(74) 代理人 100057874

弁理士 曾我 道照 (外6名)

最終頁に続く

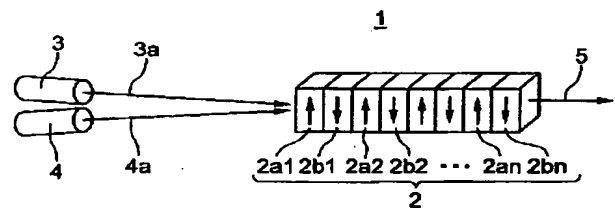
(54) 【発明の名称】 固体光源装置

(57) 【要約】

【課題】 従来の各種の手法によるテラヘルツ光の発生では、低効率で出力パワーが小さかった。

【解決手段】 第1の波長のレーザ光を出力する第1の励起レーザ光源3と、前記第1の波長のレーザ光との差周波数がテラヘルツ帯である、第2の波長のレーザ光を出力する第2の励起レーザ光源4と、前記第1の波長のレーザ光の第1の光軸と前記第2の波長のレーザ光の第2の光軸がオーバーラップしている箇所に配置され、前記第1及び第2の波長のレーザ光の照射に基づいて前記第1及び第2の光軸と同軸な方向にテラヘルツ光を発生する半導体擬似位相整合素子2とを備えた。

【効果】 狭線幅特性を維持しつつ高出力かつ高効率なテラヘルツ波発生を容易かつ確実に実現できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 の波長のレーザ光を出力する第 1 の励起レーザ光源と、

前記第 1 の波長のレーザ光との差周波数がテラヘルツ帯である、第 2 の波長のレーザ光を出力する第 2 の励起レーザ光源と、

前記第 1 の波長のレーザ光の第 1 の光軸と前記第 2 の波長のレーザ光の第 2 の光軸がオーバーラップしている箇所に配置され、前記第 1 及び第 2 の波長のレーザ光の照射に基づいて前記第 1 及び第 2 の光軸と同軸な方向にテラヘルツ光を発生する非線形波長変換素子とを備えたことを特徴とする固体光源装置。

【請求項 2】 前記第 1 の励起レーザ光源は、波長固定レーザであり、

前記第 2 の励起レーザ光源は、波長可変レーザであることを特徴とする請求項 1 記載の固体光源装置。

【請求項 3】 前記第 1 の励起レーザ光源は、Nd : YAG レーザであり、

前記第 2 の励起レーザ光源は、Yb : YAG レーザであることを特徴とする請求項 2 記載の固体光源装置。

【請求項 4】 前記第 1 の励起レーザ光源は、前記第 1 の波長が  $1.064\mu\text{m}$  の単色光であり、

前記第 2 の励起レーザ光源は、前記第 2 の波長が  $1\mu\text{m}$  帯の単色光であることを特徴とする請求項 3 記載の固体光源装置。

【請求項 5】 前記第 1 及び第 2 の励起レーザ光源は、Yb : YAG レーザであることを特徴とする請求項 1 記載の固体光源装置。

【請求項 6】 前記第 1 の励起レーザ光源は、Nd : YLF レーザであり、

前記第 2 の励起レーザ光源は、Yb : YAG レーザであることを特徴とする請求項 1 記載の固体光源装置。

【請求項 7】 前記非線形波長変換素子は、前記第 1 及び第 2 の光軸と同軸な方向の長さが各々  $\Lambda/2$  の複数個の第 1 の半導体材料と、長さが各々  $\Lambda/2$  の複数個の第 2 の半導体材料を拡散接合で一体とし、前記第 1 及び第 2 の半導体材料が前記第 1 及び第 2 の光軸と垂直な方向が [001] 軸であり、それぞれの [001] 軸の向きが平行で、かつ、[001] 軸の向きが交互に逆になるように配置された半導体擬位相整合素子であることを特徴とする請求項 1 記載の固体光源装置。

【請求項 8】 前記半導体擬位相整合素子の前記第 1 及び第 2 の半導体材料は、テラヘルツ領域で透明な材料であることを特徴とする請求項 7 記載の固体光源装置。

【請求項 9】 前記半導体擬位相整合素子の前記第 1 及び第 2 の半導体材料は、GaP であることを特徴とする請求項 8 記載の固体光源装置。

【請求項 10】 前記半導体擬位相整合素子の前記第 1 及び第 2 の半導体材料は、GaAs であることを特徴とする請求項 8 記載の固体光源装置。

(2)

【請求項 11】 前記非線形波長変換素子は、前記第 1 及び第 2 の光軸と同軸な方向の長さが各々  $\Lambda/2$  の複数個の第 1 の半導体材料と、長さが各々  $\Lambda/2$  の複数個の第 2 の半導体材料を拡散接合で一体とし、前記第 1 及び第 2 の半導体材料の方位が、前記第 1 及び第 2 の光軸に垂直な方向に同一で、かつ、向きが交互に逆になるように配置された半導体擬位相整合素子であることを特徴とする請求項 1 記載の固体光源装置。

【請求項 12】 前記半導体擬位相整合素子の前記第 1 及び第 2 の半導体材料は、テラヘルツ領域で透明な材料であることを特徴とする請求項 11 記載の固体光源装置。

【請求項 13】 前記半導体擬位相整合素子の前記第 1 及び第 2 の半導体材料は、GaP であることを特徴とする請求項 12 記載の固体光源装置。

【請求項 14】 前記半導体擬位相整合素子の前記第 1 及び第 2 の半導体材料は、GaAs であることを特徴とする請求項 12 記載の固体光源装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、固体光源装置に関し、さらに詳しくは、テラヘルツ帯分光用光源、イメージング光源、通信さらには計測用光源に用いる固体光源装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】テラヘルツ帯を発生する光源としては、GaAs 光伝導素子、磁場印加型半導体素子、LiNbO<sub>3</sub>を用いた光パラメトリック発振器、あるいは有機非線形光学結晶を用いた差周波発生素子などがあったが、いずれも低効率で出力パワーが小さかった。

【0003】また、従来の拡散接合を用いた半導体擬位相整合素子は、接合界面での散乱が大きいために実用化には遠く及ばず、ましてやこの技術を用いたテラヘルツ光源は皆無であった。

【0004】従来の固体光源装置について図面を参照しながら説明する。図 5 は、例えば「レーザ研究、第 26 巻、第 7 号、p. 515~521、1998 年 7 月」に示された従来の固体光源装置の構成を示す図である。この図 5 は、テラヘルツ波発生に用いられている光伝導素子の一例の構成図である。

【0005】図 5 において、100 は光伝導素子、101 は半導体基板、102 は光伝導薄膜、103 は平行伝送線路、104 はダイポールアンテナ、105 はギャップ、106 は直流電源、110 は光パルス、111 はテラヘルツ電磁波である。

【0006】この光伝導素子 100 では、GaAs など高速応答する半導体の基板 101 と、低温成長 GaAs などの光伝導薄膜 102 上に、伝送線路 103a 及び 103b からなる平行伝送線路 103 が形成され、その中央部分に微小ダイポールアンテナ 104 からなる単一の

光スイッチが設けられている。

【0007】この光スイッチ104の中央には、例えば数 $\mu\text{m}$ 程度の微小なギャップ105があり、ギャップ105には直流電源106によって適当な電圧が印加される。

【0008】このギャップ105間に半導体のバンドギャップよりも高いエネルギーのレーザ光が光パルス110として入射すると、半導体中に自由キャリアが生成されてパルス状の電流が流れ、このパルス状の電流の時間微分に比例したテラヘルツ電磁波111が発生される。

【0009】このため、テラヘルツ電磁波111は、パルス状の電流が例えばピコ秒以下程度で発生し、さらには、光パルス110がピコ秒以下程度の短パルスレーザ光を照射することで発生する。

【0010】また、「レーザー学会学術講演会第17回年次大会、23a114、p. 194~197」に示されるように、光伝導素子上で、2つの連続波レーザを光混合することにより、テラヘルツ波を連続発生させることができる。周波数の異なる2つの単色光を混合すると、合成振幅は差周波数で変調される。その混合波（光ビート）を光伝導素子に照射すると、光電流が変調され、アンテナから差周波数に対応した電磁波が放射される。このため、差周波数がテラヘルツ程度となるように2つの連続波レーザの周波数を取ることで、テラヘルツ波が発生する。

【0011】また、「レーザー研究、第26巻、第7号、p. 527~530、1998年7月」に示されるように、磁場中に置かれたInAs、GaAsなどの半導体に、レーザ光としてピコ秒以下程度の光パルスを照射することで、テラヘルツ波を発生させることができる。

【0012】また、「レーザー研究、第26巻、第7号、p. 522~526、1998年7月」に示されるように、2次の非線形光学効果を有する結晶としてLiNbO<sub>3</sub>を用い、結晶に光波を入射し、位相整合条件化で光パラメトリック共振器を構成することで、テラヘルツ光を発生させることができる。

【0013】また、「OPTICS LETTERS, Vol. 25, No. 23, pp. 1714-1716, 2000」に示されるように、2次の非線形光学効果を有する結晶として非線形性の高い有機結晶を用い、結晶に差周波数がテラヘルツとなる2つのレーザを入射し、位相整合条件化で差周波発生を行うことでテラヘルツ光を発生させることができる。

【0014】さらに、「第61回応用物理学学会学術講演会 講演予稿集、No. 3, 4a-L-8, p957, 2000」に示されるように、2次の非線形光学効果を有する材料としてバルク型の半導体材料を用い、非線形材料に差周波数がテラヘルツとなる2つのレーザを入射し、位相整合条件化で差周波発生を行うことでテラヘルツ光を発生させることができる。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した従来技術は、以下のような問題点があった。

【0016】短パルスレーザ光励起による光伝導素子でのテラヘルツ光の発生では、低効率で出力パワーが小さかった。また、線幅が広い単一縦モードの光源も存在しなかった。

【0017】また、2つの連続波レーザ励起による光伝導素子でのテラヘルツ光の発生では、低効率で出力パワーが小さかった。

【0018】また、短パルスレーザ光励起による磁場中に置かれ半導体素子によるテラヘルツ光の発生では、低効率で出力パワーが小さかった。また、線幅が広い単一縦モードの光源も存在しなかった。

【0019】また、非線形光学素子としてLiNbO<sub>3</sub>を用いた光パラメトリック発振器によるテラヘルツ光の発生では、LiNbO<sub>3</sub>におけるテラヘルツ光の吸収が大きく、発生したテラヘルツ光の取り出し効率が低く、出力パワーが小さかった。また、テラヘルツ光の出力角度が励起光の光軸と一致していないため、光パラメトリック発振器において、励起光と波長変換により得られたテラヘルツ光の相互作用長を長く取ることが困難であり、波長変換が低効率で出力パワーが小さかった。

【0020】また、非線形光学素子として有機結晶を用いた差周波によるテラヘルツ光の発生では、低効率で出力パワーが小さかった。

【0021】また、線形光学素子としてバルク型の半導体材料を用いた差周波によるテラヘルツ光の発生では、位相整合条件を長距離取ることが困難であるため、低効率で出力パワーが小さかった。

【0022】さらに、従来の拡散接合を用いた半導体擬似位相整合素子は、接合界面での散乱が大きいため実用化には遠く及ばず、ましてやこの技術を用いたテラヘルツ光源は皆無であるという問題点もあった。

【0023】この発明は、前述した問題点を解決するためになされたもので、テラヘルツ波を発生するのに、半導体の拡散接合による擬似位相整合差周波発生素子を用いる。GaP、GaAsなどの半導体は、非線形光学定数が大きいのので高効率波長変換に適しており、テラヘルツ領域で透明である。また、熱伝導率が大きく、高出力動作にも適している。さらに、差周波光源として1 $\mu\text{m}$ 帯の波長可変レーザを用いると、擬似位相整合差周波発生によりテラヘルツ波を発生するための拡散接合周期は、数mmと非常に長く、接合界面の数を最小限に抑えることができるので、低損失の素子を作製することが可能である。また、素子温度を調整し、差周波光源の一方の波長をnmオーダーとわずかに変化させるだけで、テラヘルツ発生波長を数百 $\mu\text{m}$ にもわたってチューニングすることが可能となるテラヘルツ波光源を提供することを目的とする。

## 【0024】

【課題を解決するための手段】この発明の請求項1に係る固体光源装置は、第1の波長のレーザ光を出力する第1の励起レーザ光源と、前記第1の波長のレーザ光との差周波数がテラヘルツ帯である、第2の波長のレーザ光を出力する第2の励起レーザ光源と、前記第1の波長のレーザ光の第1の光軸と前記第2の波長のレーザ光の第2の光軸がオーバーラップしている箇所に配置され、前記第1及び第2の波長のレーザ光の照射に基づいて前記第1及び第2の光軸と同軸な方向にテラヘルツ光を発生する非線形波長変換素子とを備えたものである。

【0025】この発明の請求項2に係る固体光源装置は、前記第1の励起レーザ光源を、波長固定レーザとし、前記第2の励起レーザ光源を、波長可変レーザとしたものである。

【0026】この発明の請求項3に係る固体光源装置は、前記第1の励起レーザ光源を、Nd:YAGレーザとし、前記第2の励起レーザ光源を、Yb:YAGレーザとしたものである。

【0027】この発明の請求項4に係る固体光源装置は、前記第1の励起レーザ光源を、前記第1の波長が1.064 $\mu$ mの単色光とし、前記第2の励起レーザ光源を、前記第2の波長が1 $\mu$ m帯の単色光としたものである。

【0028】この発明の請求項5に係る固体光源装置は、前記第1及び第2の励起レーザ光源を、Yb:YAGレーザとしたものである。

【0029】この発明の請求項6に係る固体光源装置は、前記第1の励起レーザ光源を、Nd:YLFレーザとし、前記第2の励起レーザ光源を、Yb:YAGレーザとしたものである。

【0030】この発明の請求項7に係る固体光源装置は、前記非線形波長変換素子を、前記第1及び第2の光軸と同軸な方向の長さが各々 $\Lambda/2$ の複数個の第1の半導体材料と、長さが各々 $\Lambda/2$ の複数個の第2の半導体材料を拡散接合で一体とし、前記第1及び第2の半導体材料が前記第1及び第2の光軸と垂直な方向が【001】軸であり、それぞれの【001】軸の向きが平行で、かつ、【001】軸の向きが交互に逆になるように配置された半導体擬似位相整合素子としたものである。

【0031】この発明の請求項8に係る固体光源装置は、請求項7において、前記半導体擬似位相整合素子の前記第1及び第2の半導体材料を、テラヘルツ領域で透明な材料としたものである。

【0032】この発明の請求項9に係る固体光源装置は、請求項8において、前記半導体擬似位相整合素子の前記第1及び第2の半導体材料を、GaPとしたものである。

【0033】この発明の請求項10に係る固体光源装置は、請求項8において、前記半導体擬似位相整合素子の

前記第1及び第2の半導体材料を、GaAsとしたものである。

【0034】この発明の請求項11に係る固体光源装置は、前記非線形波長変換素子を、前記第1及び第2の光軸と同軸な方向の長さが各々 $\Lambda/2$ の複数個の第1の半導体材料と、長さが各々 $\Lambda/2$ の複数個の第2の半導体材料を拡散接合で一体とし、前記第1及び第2の半導体材料の方位が、前記第1及び第2の光軸に垂直な方向に同一で、かつ、向きが交互に逆になるように配置された半導体擬似位相整合素子としたものである。

【0035】この発明の請求項12に係る固体光源装置は、請求項11において、前記半導体擬似位相整合素子の前記第1及び第2の半導体材料を、テラヘルツ領域で透明な材料としたものである。

【0036】この発明の請求項13に係る固体光源装置は、請求項12において、前記半導体擬似位相整合素子の前記第1及び第2の半導体材料を、GaPとしたものである。

【0037】この発明の請求項14に係る固体光源装置は、請求項12において、前記半導体擬似位相整合素子の前記第1及び第2の半導体材料を、GaAsとしたものである。

## 【0038】

【発明の実施の形態】実施の形態1. この発明の実施の形態1に係る固体光源装置について図面を参照しながら説明する。図1は、この発明の実施の形態1に係る固体光源装置の構成を示す図である。この図1は、擬似位相整合非線形波長変換を用いたテラヘルツ波光源である固体光源装置の構成例である。

【0039】図1において、1は擬似位相整合非線形波長変換を用いたテラヘルツ波光源である固体光源装置、2は非線形波長変換素子である半導体擬似位相整合素子、3は第1の励起レーザ光源、3aは波長 $\lambda_1$ のレーザ光、4は第2の励起レーザ光源、4aは波長 $\lambda_2$ のレーザ光、5は波長 $\lambda_3$ のテラヘルツ光である。

【0040】つぎに、この実施の形態1に係る固体光源装置の動作について図面を参照しながら説明する。

【0041】第1の励起レーザ光源3は、波長 $\lambda_1$ のレーザ光3aを出力し、第2の励起レーザ光源4は、波長 $\lambda_2$ のレーザ光4aを出力する。第1のレーザ光源3は、Nd:YAGレーザであってもよく、第2のレーザ光源4は、Yb:YAGレーザであってもよい。

【0042】このため、第1の励起レーザ光源3は、レーザ光3aの波長 $\lambda_1$ が1.064 $\mu$ mの単色光で出力する波長固定レーザである。Yb:YAGレーザは、1 $\mu$ m帯に広帯域な利得を有するため波長可変レーザとして構成することが可能であり、第2の励起レーザ光源4は、レーザ光4aの波長 $\lambda_2$ が1 $\mu$ m帯の単色光で出力する波長可変レーザである。なお、第1のレーザ光源3は、Nd原子の $4F_{3/2}$ から $4I_{11/2}$ の遷移の

内、R2からY3の遷移を利用しているため発振波長が1.064μmの波長固定レーザとなるが、他の遷移を利用して他の発振波長で出力する波長固定レーザとして用いてもよい。

【0043】第1の励起レーザ光源3からのレーザ光3a、および、第2の励起レーザ光源4からのレーザ光4aは、共に半導体擬似位相整合素子2に照射される。レーザ光3aとレーザ光4aの光軸は同軸に配置することが望ましいが、第1の励起レーザ光源3および第2の励起レーザ光源4の大きさの関係から僅かに角度をもっている。ただし、この場合、レーザ光3aとレーザ光4aの光軸は、半導体擬似位相整合素子2上では、ほぼ一致している。また、適切な光学部品を用いてレーザ光3aとレーザ光4aの光軸を前もって一致させておいてもよい。

【0044】半導体擬似位相整合素子2は、励起光の光軸と同軸な方向の長さが $\Lambda/2$ の複数個の半導体材料2an (n=1, 2, ..., n)、2bn (n=1, 2, ..., n)を拡散接合で一体としている。前記第1及び第2の半導体材料の方位は、前記第1及び第2の光軸に垂直な方向に同一で、かつ、向きが交互に逆になるように配置される。ここで、前記第1及び第2の半導 \*

$$\omega_1 - \omega_2 = \omega_3, \quad \omega = c/\lambda$$

ここで、 $\omega$ は周波数、 $c$ は光速、 $\lambda$ は波長である。

【0048】図2は、非線形波長変換素子でのレーザ光の伝搬長に対する波長変換光強度を示す模式図である。

【0049】2波長の励起レーザ光と差周波光の波数差※

$$\Delta k = k_1 - k_2 - k_3, \quad k = 2\pi n/\lambda$$

【0051】

$$l_c = 2\pi/\Delta k$$

【0052】 $\Lambda = 2l_c = 2\pi/\Delta k$

【0053】ここで、 $n$ は非線形波長変換素子の波長 $\lambda$ に対する屈折率である。

【0054】バルク型の1素子による非線形波長変換素子を用いた場合、波長変換光強度は伝搬長が $l_c$ の時、飽和し最大となり、その後低下する。伝搬長が $2l_c$ の時、波長変換光強度は0となるが、伝搬長が $3l_c$ まで再び増加する。このように波長変換光強度は、増減を繰り返しながら非線形波長変換素子を伝搬するため、大きな出力光を得ることは困難である。

【0055】一方、非線形波長変換素子の分極方向をコヒーレンス長 $l_c$ 毎に反転させた疑似位相整合素子2の場合、伝搬長 $l_c$ 毎に増減を繰り返すことなしに、波長変換光強度を増加させることができる。

【0056】例えば、LiNbO<sub>3</sub>の場合、コヒーレンス長 $l_c$ 毎に分極方向を反転させた疑似位相整合波長変換素子を作成する場合、LiNbO<sub>3</sub>に強電界をかけることで作成することもできる。一方、GaP、GaAsなどの半導体材料の場合、強電界を用いた疑似位相整合波長変換素子の作成が困難であるため、コヒーレンス長

\*体材料の方位が、前記第1及び第2の光軸に垂直な方向が[001]軸であり、それぞれの[001]軸の向きが平行で、さらに、[001]軸の向きが交互に逆になるように配置されている場合、半導体材料における非線形光学定数は最も大きとすることができる。このため、ここでは前記第1及び第2の光軸に垂直な方向が[001]軸である場合について示す。

【0045】第1の励起レーザ光源3からのレーザ光3a、および、第2の励起レーザ光源4からのレーザ光4aは、共に直線偏光である。レーザ光3aの波長がレーザ光4aの波長よりも短い場合、レーザ光3aの偏光方向は半導体材料の[001]軸の向きと平行であり、レーザ光4aの偏光方向は[001]軸の向きと垂直である。また、レーザ光3aの波長がレーザ光4aの波長よりも長い場合、レーザ光3aの偏光方向は[001]軸の向きと垂直であり、レーザ光4aの偏光方向は[001]軸の向きと平行である。

【0046】2波長の励起レーザ光と非線形波長変換素子を用いた差周波発生を行う場合、以下の関係式が成り立つ。

【0047】

(1)

※を $\Delta k$ 、コヒーレンス長を $l_c$ 、反転周期を $\Lambda$ としたとき、以下の関係が成り立つ。

【0050】

(3)

$l_c$ 毎に切り分けた複数の半導体材料を用いて、拡散接合により一体化することで作成することができる。しかし、拡散接合による境界面は、完全に一体化することが困難であるため、特に境界面の数が多い場合、接合による損失が大きくなり、高出力な波長変換光を得ることは困難である。

【0057】図3は、GaPの屈折率の波長依存性を示す特性図である。

【0058】1μm帯近傍では、GaPの屈折率は単調減少する。また、25μm帯に赤外異常分散が存在する。このような異常分散特性のため、長波長の方が短波長より大きく屈折し、さらに、テラヘルツ近傍では屈折率は漸近し、ほぼ一定となる。

【0059】GaP、GaAsなどの半導体材料の場合、差周波がテラヘルツ程度となる1μm帯の2波長の励起光において、波数差はテラヘルツ光の波数にほぼ一致する。

【0060】図4は、差周波光の波長が $\lambda_3 = 300\mu m$ のときの、コヒーレンス長 $l_c$ の計算結果を示す図である。

【0061】ここで、横軸は励起光1の波長 $\lambda_1$ であり、縦軸にコヒーレンス長 $l_c$ を示している。励起光源として $1\mu\text{m}$ 帯の2波長のレーザを用い、GaPなどの半導体材料を波長変換素子として用い、テラヘルツ波帯の差周波発生を行った場合、 $\Delta k$ が小さくなり、この結果、コヒーレンス長 $l_c$ はmmオーダーと長く取ることが可能である。従って、半導体擬似位相整合素子の接合界面の数を最小限に抑えることができるので、低損失の素子を作製することが可能であり、高効率で高出力のテラヘルツ光を得ることができる。

【0062】GaP、GaAsなどの半導体は、非線形光学定数が大きいこと高効率波長変換に適している。また、コヒーレンス長毎に【001】軸の向きが交互になるように接合した擬似位相整合波長変換素子であるため、 $\Delta k=0$ とする必要がなく、この結果、2波長の励起光と差周波光の光軸は一致させることが可能である。このため、2波長の励起光と差周波光の相互作用長を長く取ることが可能であるため、特に高効率波長変換に適している。

【0063】このような半導体擬似位相整合素子2と2波長の励起光を用いた差周波発生では、特に高効率波長変換が可能であるため、2波長の励起光は連続波からピコ秒以下の短パルスまで様々なパルス長を用いてもテラヘルツ光の発生は高効率で高出力で得ることができる。このため、2波長の励起光のパルス長を選択することで、差周波のテラヘルツ光として連続波からピコ秒以下の短パルスを得ることができる。このように、テラヘルツ光の発生は、特にピコ秒以下の短パルスである必要がないため、フーリエ限界で決定されるテラヘルツ光の波長広がりやを狭くすることが可能であり、狭線幅特性を維持しつつ単一縦モードのテラヘルツ光を得ることができる。

【0064】また、GaP、GaAsなどの半導体はテラヘルツ領域で透明であるため、差周波発生により得られたテラヘルツ光は吸収により減衰することがなく、高効率に出力光として取り出すことが可能である。さらに、GaP、GaAsなどの半導体は熱伝導率が高いため、高出力動作にも適している。

【0065】また、素子温度を調整し、差周波光源の一方の波長をnmオーダーとわずかに変化させるだけで、テラヘルツ発生波長を数百 $\mu\text{m}$ にもわたってチューニングすることが可能となるテラヘルツ波光源を提供することができる。

【0066】なお、上記実施の形態では、非線形材料としてGaPを用いたが、GaAsなどの他の半導体も同様な異常分散特性を有するため使用することができる。

【0067】また、上記実施の形態では、励起光源として、波長固定レーザにNd:YAGレーザを、波長可変レーザにYb:YAGレーザを用いたが、Yb:YAGレーザを2台用いても実現可能であり、さらに他のNd

添加レーザ、Yb添加レーザを用いる場合にも適用可能である。

【0068】さらに、上記実施の形態では、励起光源として、波長固定レーザにNd:YAGレーザを、波長可変レーザにYb:YAGレーザを用いたが、波長固定レーザにNd:YLFレーザを、波長可変レーザにYb:YAGレーザを用いても実現可能であり、さらに他のNd添加レーザ、Yb添加レーザを用いる場合にも適用可能である。

10 【0069】以上のように、この発明によれば、テラヘルツ波発生に、 $1\mu\text{m}$ 帯の波長可変レーザと大きな非線形光学定数・熱伝導率を有する半導体の異常分散特性を併用することで擬似位相整合差周波発生のための接合間隔を数mmと長周期にする手法を提案したため、狭線幅特性を維持しつつ高出力かつ高効率なテラヘルツ波発生を容易かつ確実に実現できる。

【0070】

【発明の効果】この発明の請求項1に係る固体光源装置は、以上説明したとおり、第1の波長のレーザ光を出力する第1の励起レーザ光源と、前記第1の波長のレーザ光との差周波数がテラヘルツ帯である、第2の波長のレーザ光を出力する第2の励起レーザ光源と、前記第1の波長のレーザ光の第1の光軸と前記第2の波長のレーザ光の第2の光軸がオーバーラップしている箇所に配置され、前記第1及び第2の波長のレーザ光の照射に基づいて前記第1及び第2の光軸と同軸な方向にテラヘルツ光を発生する非線形波長変換素子とを備えたので、狭線幅特性を維持しつつ高出力かつ高効率なテラヘルツ波発生を容易かつ確実に実現できるという効果を奏する。

30 【0071】この発明の請求項2に係る固体光源装置は、以上説明したとおり、前記第1の励起レーザ光源を、波長固定レーザとし、前記第2の励起レーザ光源を、波長可変レーザとしたので、狭線幅特性を維持しつつ高出力かつ高効率なテラヘルツ波発生を容易かつ確実に実現できるという効果を奏する。

40 【0072】この発明の請求項3に係る固体光源装置は、以上説明したとおり、前記第1の励起レーザ光源を、Nd:YAGレーザとし、前記第2の励起レーザ光源を、Yb:YAGレーザとしたので、狭線幅特性を維持しつつ高出力かつ高効率なテラヘルツ波発生を容易かつ確実に実現できるという効果を奏する。

【0073】この発明の請求項4に係る固体光源装置は、以上説明したとおり、前記第1の励起レーザ光源を、前記第1の波長が $1.064\mu\text{m}$ の単色光とし、前記第2の励起レーザ光源を、前記第2の波長が $1\mu\text{m}$ 帯の単色光としたので、狭線幅特性を維持しつつ高出力かつ高効率なテラヘルツ波発生を容易かつ確実に実現できるという効果を奏する。

50 【0074】この発明の請求項5に係る固体光源装置は、以上説明したとおり、前記第1及び第2の励起レー

ザ光源を、Yb : YAG レーザとしたので、狭線幅特性を維持しつつ高出力かつ高効率なテラヘルツ波発生を容易かつ確実に実現できるという効果を奏する。

【0075】この発明の請求項6に係る固体光源装置は、以上説明したとおり、前記第1の励起レーザ光源を、Nd : YLF レーザとし、前記第2の励起レーザ光源を、Yb : YAG レーザとしたので、狭線幅特性を維持しつつ高出力かつ高効率なテラヘルツ波発生を容易かつ確実に実現できるという効果を奏する。

【0076】この発明の請求項7に係る固体光源装置は、以上説明したとおり、前記非線形波長変換素子を、前記第1及び第2の光軸と同軸な方向の長さが各々  $\Lambda/2$  の複数個の第1の半導体材料と、長さが各々  $\Lambda/2$  の複数個の第2の半導体材料を拡散接合で一体とし、前記第1及び第2の半導体材料が前記第1及び第2の光軸と垂直な方向が【001】軸であり、それぞれの【001】軸の向きが平行で、かつ、【001】軸の向きが交互に逆になるように配置された半導体擬似位相整合素子としたので、狭線幅特性を維持しつつ高出力かつ高効率なテラヘルツ波発生を容易かつ確実に実現できるという効果を奏する。

【0077】この発明の請求項8に係る固体光源装置は、以上説明したとおり、請求項7において、前記半導体擬似位相整合素子の前記第1及び第2の半導体材料を、テラヘルツ領域で透明な材料としたので、狭線幅特性を維持しつつ高出力かつ高効率なテラヘルツ波発生を容易かつ確実に実現できるという効果を奏する。

【0078】この発明の請求項9に係る固体光源装置は、以上説明したとおり、請求項8において、前記半導体擬似位相整合素子の前記第1及び第2の半導体材料を、GaP としたので、狭線幅特性を維持しつつ高出力かつ高効率なテラヘルツ波発生を容易かつ確実に実現できるという効果を奏する。

【0079】この発明の請求項10に係る固体光源装置は、以上説明したとおり、請求項8において、前記半導体擬似位相整合素子の前記第1及び第2の半導体材料を、GaAs としたので、狭線幅特性を維持しつつ高出力かつ高効率なテラヘルツ波発生を容易かつ確実に実現できるという効果を奏する。

【0080】この発明の請求項11に係る固体光源装置は、以上説明したとおり、前記非線形波長変換素子を、

前記第1及び第2の光軸と同軸な方向の長さが各々  $\Lambda/2$  の複数個の第1の半導体材料と、長さが各々  $\Lambda/2$  の複数個の第2の半導体材料を拡散接合で一体とし、前記第1及び第2の半導体材料の方位が、前記第1及び第2の光軸に垂直な方向に同一で、かつ、向きが交互に逆になるように配置された半導体擬似位相整合素子としたので、狭線幅特性を維持しつつ高出力かつ高効率なテラヘルツ波発生を容易かつ確実に実現できるという効果を奏する。

10 【0081】この発明の請求項12に係る固体光源装置は、以上説明したとおり、請求項11において、前記半導体擬似位相整合素子の前記第1及び第2の半導体材料を、テラヘルツ領域で透明な材料としたので、狭線幅特性を維持しつつ高出力かつ高効率なテラヘルツ波発生を容易かつ確実に実現できるという効果を奏する。

【0082】この発明の請求項13に係る固体光源装置は、以上説明したとおり、請求項12において、前記半導体擬似位相整合素子の前記第1及び第2の半導体材料を、GaP としたので、狭線幅特性を維持しつつ高出力かつ高効率なテラヘルツ波発生を容易かつ確実に実現できるという効果を奏する。

【0083】この発明の請求項14に係る固体光源装置は、以上説明したとおり、請求項12において、前記半導体擬似位相整合素子の前記第1及び第2の半導体材料を、GaAs としたので、狭線幅特性を維持しつつ高出力かつ高効率なテラヘルツ波発生を容易かつ確実に実現できるという効果を奏する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1に係る固体光源装置の構成を示す図である。

【図2】 非線形波長変換素子での波長変換光強度を示す模式図である。

【図3】 GaP の屈折率の波長依存性を示す図である。

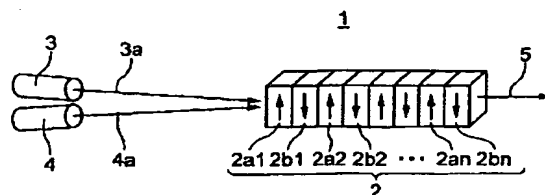
【図4】 コヒーレンス長の計算結果を示す図である。

【図5】 従来の固体光源装置の構成を示す図である。

#### 【符号の説明】

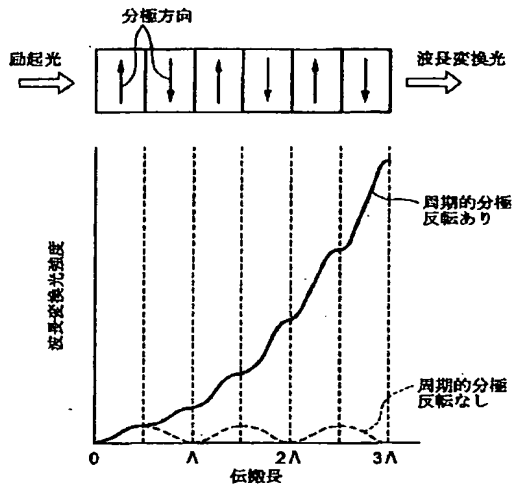
1 固体光源装置、2 半導体擬似位相整合素子、3 第1の励起レーザ光源、3a 波長  $\lambda_1$  のレーザ光、4 第2の励起レーザ光源、4a 波長  $\lambda_2$  のレーザ光、5 波長  $\lambda_3$  のテラヘルツ光。

【図1】

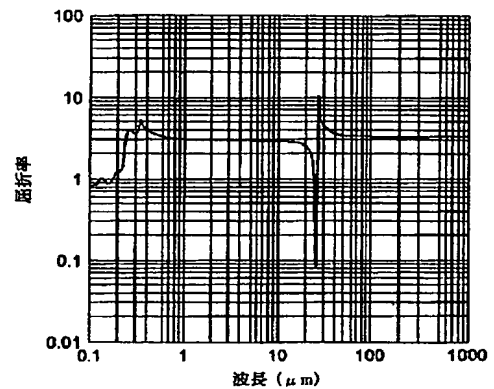




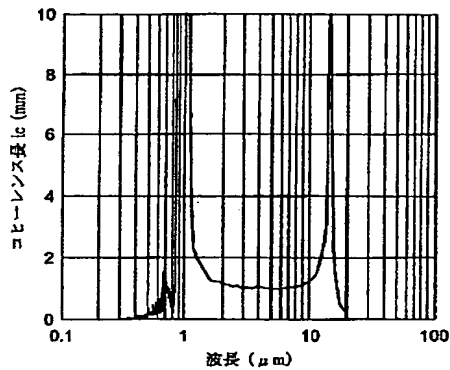
【図 2】



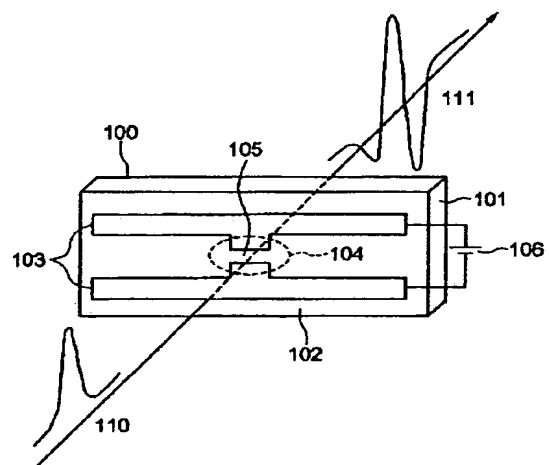
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

(72)発明者 庄司 一郎

愛知県岡崎市明大寺町字西郷中38番地 岡  
崎国立共同研究機構分子科学研究所内

(72)発明者 平等 拓範

愛知県岡崎市明大寺町字西郷中38番地 岡  
崎国立共同研究機構分子科学研究所内

(72)発明者 栗村 直

愛知県岡崎市明大寺町字西郷中38番地 岡  
崎国立共同研究機構分子科学研究所内

Fターム(参考) 2K002 AB12 BA03 CA13 DA06 DA11

EA05 EA07 EA27 HA21

5F072 AB01 AB02 AB15 JJ20 KK11

QQ04 YY11 YY15